

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re Patent Application of
Kyoung-sig ROH et al
Application No.: Unassigned
Filing Date: November 14, 2003
Title: HAND/EYE CALIBRATION METHOD USING PROJECTIVE INVARIANT SHAPE DESCRIPTOR OF
2-DIMENSIONAL IMAGE

Group Art Unit: Unassigned
Examiner: Unassigned
Confirmation No.: Unassigned

SUBMISSION OF CERTIFIED COPY OF PRIORITY DOCUMENT

Commissioner for Patents
P.O. Box 1450
Alexandria, VA 22313-1450

Sir:

The benefit of the filing date of the following priority foreign application(s) in the following foreign country is hereby requested, and the right of priority provided in 35 U.S.C. § 119 is hereby claimed.

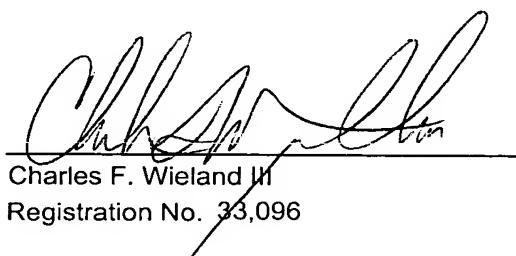
Country: Korea
Patent Application No(s).: 2002-72695
Filed: November 21, 2002

In support of this claim, enclosed is a certified copy(ies) of said foreign application(s). Said prior foreign application(s) is referred to in the oath or declaration. Acknowledgment of receipt of the certified copy(ies) is requested.

Respectfully submitted,

BURNS, DOANE, SWECKER & MATHIS, L.L.P.

By


Charles F. Wieland III
Registration No. 33,096

P.O. Box 1404
Alexandria, Virginia 22313-1404
(703) 836-6620

Date: November 14, 2003

**KOREAN INTELLECTUAL
PROPERTY OFFICE**

This is to certify that the following application annexed hereto
is a true copy from the records of the Korean Intellectual
Property Office.

Application Number: **Patent Application No. 2002-72695**

Date of Application: **21 November 2002**

Applicant(s): **Samsung Electronics Co., Ltd.**

2 December 2002

COMMISSIONER

1020020072695

2002/12/4

[Document Name] Patent Application
[Application Type] Patent
[Receiver] Commissioner
[Reference No.] 0011
[Filing Date] 2002.11.21
[IPC] H04N
[Title] Method for calibrating hand/eye using projective invariant shape descriptor for 2-dimensional shape

[Applicant]

[Name] Samsung Electronics Co., Ltd.
[Applicant code] 1-1998-104271-3

[Attorney]

[Name] Young-pil Lee
[Attorney's code] 9-1998-000334-6
[General Power of Attorney Registration No.] 1999-009556-9

[Attorney]

[Name] Hae-young Lee
[Attorney's code] 9-1999-000227-4
[General Power of Attorney Registration No.] 2000-002816-9

[Inventor]

[Name] ROH, Kyoung Sig
[I.D. No.] 641016-1260717
[Zip Code] 463-772
[Address] 114-704 Samsung Hansin Apt., Seohyeon-dong,
Bundang-gu, Seongnam-city, Kyungki-do
[Nationality] Republic of Korea

[[Inventor]]

[Name] SON, Young
[I.D. No.] 680608-1010219
[Zip Code] 463-798
[Address] 906-701 Dongsin 9-danji Apt., Imae-dong,
Bundang-gu, Seongnam-city, Kyungki-do
[Nationality] Republic of Korea

1020020072695

2002/12/4

[Inventor]

[Name] KWAK, Joo Young
[I.D. No.] 720620-1663217
[Zip Code] 463-724
[Address] 901-1412 Cheongsol Maeul Jugong 9-danji, Geumgok-dong,
Bundang-gu, Seongnam-city, Kyungki-do
[Nationality] Republic of Korea

[Request for Examination] Requested

[Application Order] We respectively submit an application according to Art. 42 of the Patent Law and request and examination according to Art. 60 of the Patent Law, as Above.

Attorney

Young-pil Lee

Attorney

Hae-young Lee

[Fee]

[Basic page]	20 Sheet(s)	29,000 won
[Additional page]	15 Sheet(s)	15,000 won
[Priority claiming fee]	0 Case(s)	0 won
[Examination fee]	15 Claim(s)	589,000 won
[Total]	633,000 Won	

[Enclosures]

1. Abstract and Specification (and Drawings)_1 copy



별첨 사본은 아래 출원의 원본과 동일함을 증명함.

This is to certify that the following application annexed hereto
is a true copy from the records of the Korean Intellectual
Property Office.

출 원 번 호 : 10-2002-0072695
Application Number PATENT-2002-0072695

출 원 년 월 일 : 2002년 11월 21일
Date of Application NOV 21, 2002

출 원 인 : 삼성전자 주식회사
Applicant(s) SAMSUNG ELECTRONICS CO., LTD.

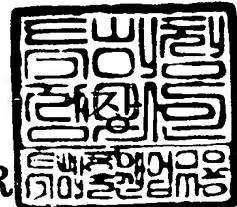


2002 년 12 월 02 일

SI

특 허 청

COMMISSIONER



【서지사항】

【서류명】	특허출원서
【권리구분】	특허
【수신처】	특허청장
【참조번호】	0011
【제출일자】	2002.11.21
【국제특허분류】	H04N
【발명의 명칭】	2 차원 형상에 대한 투사 불변형 표현자를 이용한 핸드/아이 캘리브레이션 방법
【발명의 영문명칭】	Method for calibrating hand/eye using projective invariant shape descriptor for 2-dimensional shape
【출원인】	
【명칭】	삼성전자 주식회사
【출원인코드】	1-1998-104271-3
【대리인】	
【성명】	이영필
【대리인코드】	9-1998-000334-6
【포괄위임등록번호】	1999-009556-9
【대리인】	
【성명】	이해영
【대리인코드】	9-1999-000227-4
【포괄위임등록번호】	2000-002816-9
【발명자】	
【성명의 국문표기】	노경식
【성명의 영문표기】	R0H,Kyouung Sig
【주민등록번호】	641016-1260717
【우편번호】	463-772
【주소】	경기도 성남시 분당구 서현동(시범단지) 삼성한신아파트 114동 704호
【국적】	KR
【발명자】	
【성명의 국문표기】	손영
【성명의 영문표기】	SON,Young
【주민등록번호】	680608-1010219

【우편번호】 463-798
【주소】 경기도 성남시 분당구 이매동(이매촌) 동신9단지아파트
906동 701호
【국적】 KR
【발명자】
【성명의 국문표기】 곽주영
【성명의 영문표기】 KWAK, Joo Young
【주민등록번호】 720620-1663217
【우편번호】 463-724
【주소】 경기도 성남시 분당구 금곡동(청솔마을) 주공9단지 901동
1412호
【국적】 KR
【심사청구】 청구
【취지】 특허법 제42조의 규정에 의한 출원, 특허법 제60조의 규정
 에 의한 출원심사 를 청구합니다. 대리인
 이영필 (인) 대리인
 이해영 (인)
【수수료】
【기본출원료】 20 면 29,000 원
【가산출원료】 15 면 15,000 원
【우선권주장료】 0 건 0 원
【심사청구료】 15 항 589,000 원
【합계】 633,000 원
【첨부서류】 1. 요약서·명세서(도면)_1통

【요약서】**【요약】**

본 발명은 2차원 형상에 대한 투사 불변형 표현자를 이용한 핸드/아이 캘리브레이션 방법에 관한 것으로, 상기 캘리브레이션 방법은 (a) 로봇 핸드에 부착된 카메라에 의해서 소정의 시간 간격을 두고 취득된 적어도 두 개 이상의 영상들로부터 2차원 형상에 대한 투사 불변형 표현자를 구하는 단계; (b) 상기 투사 불변형 표현자를 이용하여 상기 영상들간의 대응점을 추출하는 단계; (c) 상기 로봇 핸드의 병진운동으로부터 상기 대응점에 대한 회전 행렬을 구하는 단계; (d) 상기 로봇 핸드의 회전 및 병진운동으로부터 상기 대응점에 대한 평행 이동 벡터를 구하는 단계; 및 (e) 상기 (c) 및 상기 (d) 단계에서 구해진 상기 회전 행렬 및 상기 평행 이동 벡터를 근거로 하여 상기 로봇 핸드와 상기 카메라 사이의 관계를 규명하는 단계를 포함한다.

【대표도】

도 9

【명세서】

【발명의 명칭】

2차원 형상에 대한 투사 불변형 표현자를 이용한 핸드/아이 캘리브레이션 방법
{Method for calibrating hand/eye using projective invariant shape descriptor for
2-dimensional shape}

【도면의 간단한 설명】

도 1은 비주얼 서보잉 기술을 적용하기 위한, 카메라가 장착된 로봇 핸드의 일 예를 보여주는 도면이다.

도 2는 도 1에 도시된 카메라의 외관을 보여주는 도면이다.

도 3은 도 2에 도시된 카메라를 수학적으로 모델링 하기 위한 핀홀 카메라 모델 (pin-hall camera model)을 보여주는 도면이다.

도 4는 도 2에 도시된 카메라에서 선형성이 성립되는 조건을 보여주는 도면이다.

도 5는 물체와 영상면 상의 좌표계 및 투사관계를 보여주는 도면이다.

도 6은 카메라 좌표계, 영상면상의 좌표계, 및 로봇 핸드에 대한 월드 좌표계 사이의 관계를 보여주는 도면이다.

도 7은 임의의 2차원 형상으로부터 투사 불변형 표현자를 구하는 방법을 설명하기 위한 도면이다.

도 8은 도 7에 도시된 2차원 형상으로부터 구해진 투사 불변형 표현자의 계산 결과를 보여주는 도면이다.

도 9는 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 핸드/아이 캘리브레이션 방법을 보여주는 흐름도이다.

도 10은 도 9에 도시된 전영상과 후영상간의 대응점 추출 방법을 보여주는 상세 흐름도이다.

【발명의 상세한 설명】

【발명의 목적】

【발명이 속하는 기술분야 및 그 분야의 종래기술】

- <11> 본 발명은 비주얼 서보잉(visual servoing) 기술에 관한 것으로, 특히 2차원 형상에 대한 투사 불변형 표현자(projective invariant shape descriptor)를 이용한 핸드/아이 캘리브레이션(hand/eye calibration) 방법에 관한 것이다.
- <12> 주어진 영상 정보로부터 로봇을 제어하는 비주얼 서보잉 기술에서 원하는 영상을 얻기 위해서는 로봇의 핸드(hand)와, 로봇의 핸드에 장착된 카메라(camera)간의 변환(transformation) 관계를 알아야 하는데, 이를 핸드/아이 캘리브레이션이라 한다. 핸드/아이 캘리브레이션을 수행하기 위해 가장 많이 사용되는 방법 중 하나는, 이미 알고 있는 움직임 정보를 로봇에게 주고, 이때 발생하는 영상의 변화로부터 원하는 정보를 추출하는 방법이다. 이 방법으로부터 로봇 핸드의 변환 정보를 원활하고 정확하게 추출하기 위해서는 변화된 영상간에 정확한 대응점을 찾는 것이 매우 중요하다.
- <13> 종래에는 제한된 임의의 점들에 대한 대응점을 추출하거나, 인위적으로 특징점(feature point)을 추출함으로써 핸드/아이 캘리브레이션을 수행해 왔다. 그러

나, 기존의 방법은 비선형적인 영상에 대해 선형화를 가정하여 수행되어 왔기 때문에, 매우 제한된 환경, 즉 선형화의 가정이 잘 적용되는 경우로 그 사용 범위가 제한되는 문제를 가지고 있다.

【발명이 이루고자 하는 기술적 과제】

- <14> 본 발명이 이루고자 하는 기술적 과제는, 로봇 핸드와 카메라간의 변환 정보를 원활하고 정확하게 추출할 수 있는 핸드/아이 캘리브레이션 방법을 제공하는데 있다.
- <15> 본 발명이 이루고자 하는 다른 기술적 과제는, 상기 방법을 컴퓨터에서 실행시키기 위한 프로그램을 기록한 컴퓨터로 읽을 수 있는 기록매체를 제공하는데 있다.

【발명의 구성 및 작용】

- <16> 상기의 과제를 이루기 위하여 본 발명에 의한 핸드/아이 캘리브레이션 방법은, (a) 로봇 핸드에 부착된 카메라에 의해서 소정의 시간 간격을 두고 취득된 적어도 두 개 이상의 영상들로부터 2차원 형상에 대한 투사 불변형 표현자를 구하는 단계; (b) 상기 투사 불변형 표현자를 이용하여 상기 영상들간의 대응점을 추출하는 단계; (c) 상기 로봇 핸드의 병진운동으로부터 상기 대응점에 대한 회전 행렬을 구하는 단계; (d) 상기 로봇 핸드의 회전 및 병진운동으로부터 상기 대응점에 대한 평행 이동 벡터를 구하는 단계; 및 (e) 상기 (c) 및 상기 (d) 단계에서 구해진 상기 회전 행렬 및 상기 평행 이동 벡터를 근거로 하여 상기 로봇 핸드와 상기 카메라 사이의 관계를 규명하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 한다.
- <17> 상기의 과제를 이루기 위하여 본 발명에 의한 영상간의 대응점 추출 방법은, (a) 소정의 시간 간격을 두고 취득된 적어도 두 개 이상의 영상으로부터 2차원 형상에 대한

투사 불변형 표현자에 대한 오차를 정의하고, 노이즈 불변량을 계산하는 단계; (b) 상기 노이즈 불변량에 응답해서 대응점 결정에 사용될 드레솔드를 계산하는 단계; (c) 상기 영상들로부터 각각의 경계 데이터를 추출하고, 추출된 상기 각각의 경계 데이터를 N개의 데이터로 서브샘플링하는 단계; (d) 상기 투사 불변형 파라미터를 최소화하는 단계; (e) 최소화된 상기 투사 불변형 파라미터에 응답해서 상기 영상들 중 이후에 취득된 영상을 이전 영상으로 변환하는 단계; (f) 상기 영상에 대한 변환 전·후의 길이의 비를 고려하여 상기 경계 데이터간의 길이를 재조정하는 단계; 및 (g) 상기 경계선들간의 유사성을 비교하여, 상기 영상들간의 대응점을 결정하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 한다.

<18> 이하에서, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시예에 대하여 상세히 설명한다.

<19> 도 1은 비주얼 서보잉 기술을 적용하기 위한, 카메라(110)가 장착된 로봇 핸드(100)의 일 예를 보여주는 도면이다. 도 1을 참조하면, 산업용으로 사용되는 로봇 핸드(100)의 말단 부분에는 적어도 하나 이상의 CCD(charge-coupled device) 카메라(110)가 부착되어 있어, 로봇 핸드(100)의 움직임에 따라 취득된 영상의 분석 결과에 의해서 로봇 핸드(100)의 움직임을 파악하고 제어하게 된다.

<20> 도 2는 도 1에 도시된 카메라의 외관을 보여주는 도면이다. 도 2를 참조하면, 카메라(110)는 크게 본체(111), CCD 어레이(112), 렌즈(114)로 구성된다. 렌즈(114)는 사람 눈의 수정체에 해당되는 역할을 수행한다. CCD 어레이(112)는 카메라의 렌즈(114)를 통해 투영된 영상이 실질적으로 맷히는 영상면(image plane)에 해당되며, 사람 눈의 망막과 같은 역할을 수행한다. 렌즈(114)의 초점을 무한대로 맞추었을 때 렌즈(114)의 중심에서 CCD 어레이(112)까지의 거리를 초점거리(focal length ; F)라 하는데, 초점 거리에

따라서 화상이 달리 보이는 특징이 있다. 아래에서 상세히 설명되겠지만, 초점거리(F)는 카메라와 피사체간의 거리를 측정하는 데 있어 중요한 파라미터로 사용된다.

<21> 도 3은 도 2에 도시된 카메라(110)를 수학적으로 모델링 하기 위한 핀홀 카메라 모델(pin-hole camera model)을 보여주는 도면이다. 도 3을 참조하면, 핀홀 카메라 모델에서 영상에 대한 투사변환(projective transformation) 식은 다음과 같이 표시된다.

<22>

$$\begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \frac{1}{t_{31}X + t_{32}Y + t_{33}Z + t_{34}} \begin{bmatrix} t_{11} & t_{12} & t_{13} & t_{14} \\ t_{21} & t_{22} & t_{23} & t_{24} \\ t_{31} & t_{32} & t_{33} & t_{34} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix}$$

【수학식 1】

<23> 여기서, $(u, v, 1)$ 은 영상면에서 정의된 점(q)의 좌표이고, $(X, Y, Z, 1)$ 은 물체 좌표계에서 대응되는 점(P)의 좌표이고, t_{ij} 는 물체면과 영상면 사이의 변형 매트릭스(transformation matrix)의 ij 번째 요소를 각각 나타낸다.

<24> 이 때, 대상 물체가 2차원 평면인 경우(즉, $Z=0$), 【수학식 1】은 다음과 같이 변형된다.

<25>

$$\begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \frac{1}{t_{31}X + t_{32}Y + t_{34}} \begin{bmatrix} t_{11} & t_{12} & t_{14} \\ t_{21} & t_{22} & t_{24} \\ t_{31} & t_{32} & t_{34} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ 1 \end{bmatrix}$$

【수학식 2】

<26> 【수학식 1】 및 【수학식 2】에서 알 수 있는 바와 같이, 대상 물체로부터 영상을 취득하는 과정은 비선형적이다. 그러나, 카메라(110)에 의해 취득된 2차원 형상은 【수학식 2】에서 나타내고 있는 바와 같은 비선형적인 투사변환식을 그대로 사용하지 않고, 다음과 같이 선형화된 투사변환식을 사용한다.

<27> 도 4는 도 2에 도시된 카메라(110)에서 선형성이 성립되는 조건을 보여주는 도면이다. 도 4에 도시된 바와 같이, 물체의 크기(S_0)에 비하여 카메라(110)로부터 물체까지의 거리(S)가 충분히 크게 되면, [수학식 2]에서 나타내고 있는 비선형적인 투사변환식은 [수학식 3]과 같이 선형화된 투사변환식으로 변환된다.

<28>

$$[\begin{array}{c} u \\ v \\ 1 \end{array}] \approx S \begin{bmatrix} t_{11} & t_{12} & t_{14} \\ t_{21} & t_{22} & t_{24} \\ t_{31} & t_{32} & t_{34} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ 1 \end{bmatrix}$$

【수학식 3】

<29> 이와 같은 특성을 만족시키는 대표적인 선형화 표현자로는 퓨리에 표현자(Fourier descriptor)가 있다. 퓨리에 표현자는 2차원 물체의 이미지의 외곽선에 대해 2차원 퓨리에 변환을 수행하여 얻는 퓨리에 계수들로 그 물체의 이미지를 표현한다. 그러나, 이 방법은 카메라의 선형성이 보장되는 경우(즉, 카메라(110)와 물체 사이가 먼 경우)에만 적용될 수 있다. 따라서, 본 발명에서는 이와 같은 제약을 극복하기 위해 카메라(110)에 의해 취득된 영상을 투사 불변형 표현자(I)를 사용하여 분석한다. 그 결과, 반드시 카메라의 선형성이 보장되는 경우(즉, 카메라(110)와 물체 사이가 먼 경우)가 아니더라도, 영상을 취득하는 과정에서 나타나는 카메라(110)의 비선형적인 특성에 영향을 받지 않고, 노이즈 또는 영상의 경사각도의 변화에도 건실한 특성을 갖게 된다.

<30> 도 6은 카메라 좌표계, 영상면상의 좌표계, 및 로봇 핸드에 대한 월드 좌표계 사이의 관계를 보여주는 도면이다. 도 6을 참조하면, 로봇 핸드(100)에 대응되는 월드 좌표계는, 카메라 좌표계에 대해 회전 변환 및 평행 이동(즉, 병진운동)을 수행한 것과 같음을 알 수 있다. 그러므로, 로봇 핸드/아이 캘리브레이션은, 구체적으로 로봇 핸드(100)와 카메라(110) 사이에 존재하는 회전행렬(rotation matrix) R의 각 요소(카메라(110)의

방향에 대응)와, 평행 이동 벡터(translation vector) t 의 각 요소(카메라(110)의 위치에 대응)를 구하는 것과 같다고 할 수 있다.

<31> 본 발명에 따른 핸드/아이 캘리브레이션 방법에서는 렌즈(114)의 왜곡이나 광축의 어긋남 등이 무시될 수 있는 핀홀 카메라 모델이 사용된다. 도 6에 도시된 로봇 핸드(100)와 카메라(110) 사이의 관계는 [수학식 4]와 같이 나타낼 수 있고, 카메라(110)와 영상 사이의 관계는 [수학식 5]와 같이 나타낼 수 있다.

<32> **【수학식 4】**
$$X_h = RX_c + t$$

<33> 여기서, X_h 는 로봇 핸드(100)의 좌표계(즉, 월드 좌표계)를 나타내고, X_c 는 카메라(110)의 좌표계를 나타낸다. 그리고, R 은 회전 행렬을 나타내고, t 는 평행 이동 벡터를 나타낸다.

<34> **【수학식 5】**
$$(u - u_0) = \frac{f}{S_x} \frac{x_c}{z_c}, \quad (v - v_0) = \frac{f}{S_y} \frac{y_c}{z_c}$$

<35> 여기서, u 및 u_0 는 영상면 상의 x 좌표를 나타내고, v 및 v_0 는 영상면 상의 y 좌표를 나타낸다. 그리고, f 는 카메라 렌즈(114)와 CCD 어레이(112) 사이의 초점거리를 나타내고, S_x 및 S_y 는 각각 카메라의 스케일 팩터(scale factor)를 나타낸다. 초점거리(f) 및 스케일 팩터(S_x, S_y)는 각각 카메라(110)의 고유 특성을 나타내는 특성치로서, 카메라(110)의 스펙에 따라 고유의 값이 정해져 있다.

<36> 알려진 로봇의 움직임 정보 $X_{p1} = R_{p1}X_{p2} + t_{p1}$ 에 대하여 [수학식 4]를 적용하게 되면, [수학식 4]는 다음과 같이 변형된다.

<37> **【수학식 6】**
$$RX_{c1} + t = R_{p1}(RX_{c2} + t) + t_{p1}$$

<38> [수학식 6]을 이미 알고 있는 카메라(110)의 움직임 X_{c1} 에 대해 정리하게 되면,

<39>
$$X_{c1} = \frac{(R^{-1}R_{p1}R)}{R_{c1}} X_{c2} + \frac{R^{-1}(R_{p1}t + t_{p1} - t)}{t_{c1}}$$

【수학식 7】

<40> 이 된다. [수학식 7]에서 회전운동을 배제하고 순수한 병진운동(translational)만을 고려한 경우, 회전 행렬 R 은

<41>
$$t_{c1} = R^{-1}t_{p1}$$

【수학식 8】

<42>에 의해 구해지게 된다. 이를 3가지 경우의 로봇의 움직임 벡터 (t_{p1}, t_{p2}, t_{p3}) 에 대해 나타내게 되면,

<43>
$$t_{c1}, t_{c2}, t_{c3} = R^{-1}(t_{p1}, t_{p2}, t_{p3})$$

【수학식 9】

<44> 이 된다. 이 때, 대응되는 영상 벡터는 (OF_1, OF_2, OF_3) 이 되며, 각각의 영상 벡터는

<45>
$$OF_i = f \left[\frac{(u_i - u_0)}{f_x}, \frac{(v_i - v_0)}{f_y}, 1 \right]$$

【수학식 10】

<46> $f_x = \frac{f}{S_x}$ 이고, $f_y = \frac{f}{S_y}$ 이다.

<47> 위 식으로부터 고유 파라미터(intrinsic parameter)를 계산하면,

<48>
$$[OF_1 \cdot OF_2 = 0]$$

【수학식 11】
$$\frac{1}{f_x^2} (u_1 - u_0)(u_2 - u_0) + \frac{1}{f_y^2} (v_1 - v_0)(v_2 - v_0) + 1 = 0$$

<49>
$$[OF_1 \cdot OF_3 = 0]$$

$$\frac{1}{f_x^2} (u_1 - u_0)(u_3 - u_0) + \frac{1}{f_y^2} (v_1 - v_0)(v_3 - v_0) + 1 = 0$$

<50> $[OF_2 \cdot OF_3 = 0]$
 $\frac{1}{f_x^2} (u_2 - u_0)(u_3 - u_0) + \frac{1}{f_y^2} (v_2 - v_0)(v_3 - v_0) + 1 = 0$

<51> 이 된다. [수학식 11]을 정리하면

<52> $u_0(u_2 - u_3) + s_1(v_2 - v_3) - s_2 v_1(v_2 - v_3) = u_1(u_2 - u_3)$
【수학식 12】 $u_0(u_1 - u_3) + s_1(v_1 - v_3) - s_2 v_2(v_1 - v_3) = u_2(u_1 - u_3)$

<53> 이 된다. 여기서, $s_1 = v_0 \frac{f_x^2}{f_y^2}$ 이고, $s_2 = \frac{f_x^2}{f_y^2}$ 이다. [수학식 12]를 행렬식으로 정리하면,

<54>
$$\begin{bmatrix} (u_2 - u_3) & (v_2 - v_3) & -v_1(v_2 - v_3) \\ (u_1 - u_3) & (v_1 - v_3) & -v_2(v_1 - v_3) \\ (u'_2 - u'_3) & (v'_2 - v'_3) & -v'_1(v'_2 - v'_3) \\ (u'_1 - u'_3) & (v'_1 - v'_3) & -v'_2(v'_1 - v'_3) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_0 \\ s_1 \\ s_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u_1(u_2 - u_3) \\ u_2(u_1 - u_3) \\ u'_1(u'_2 - u'_3) \\ u'_2(u'_1 - u'_3) \end{bmatrix}$$

【수학식 13】

<55> 이 된다.

<56> 이어서, 로봇의 회전 운동과 병진운동 모두를 고려하여, 로봇 핸드(100)와 카메라(110)간의 평행 이동 벡터 t 를 계산하면 다음과 같다.

<57> 【수학식 14】 $t_{c1} = R^{-1}(R_{p1}t + t_{p1} - t)$

<58> $t = (R_{p1} - I)^{-1}(Rt_{c1} - t_{p1})$

<59> 여기서, (R_{p1}, t_{p1}) 은 이미 알고 있는 움직임 정보이고, R 은 로봇 핸드(100)의 순수한 3번의 병진운동으로부터 계산된 회전행렬이다. 그리고, t_{c1} 은 영상 벡터이고, I 는 임의의 2차원 형상으로부터 계산된 투사 불변형 표현자이다. 핸드/아이 캘리브레이션의 정밀도를 높이기 위해서는 카메라(110)의 촬영 범위 내에 미리 정해진 좌표 값에 대응되는

대응점들을 정확하게 설정하는 것이 매우 중요하다. 따라서, 본 발명에서는 비선형 변환시에도 그 값이 변하지 않는 투사 불변형 표현자를 이용하여 카메라(110)에 의해 측정된 영상들간의 대응점들을 찾아내고, 이를 캘리브레이션 타겟으로 사용하여 핸드/아이 캘리브레이션을 수행한다.

<60> 핸드/아이 캘리브레이션의 기본 요소로 사용되는 투사 불변형 표현자(I)는 다음과 같이 정의된다.

<61>
$$I \equiv \frac{\det(q_5q_1q_4)\det(q_5q_2q_3)}{\det(q_5q_1q_3)\det(q_5q_2q_4)} = \frac{\det(P_5P_1P_4)\det(P_5P_2P_3)}{\det(P_5P_1P_3)\det(P_5P_2P_4)}$$

【수학식 15】

<62> 여기서, P는 물체점이고, q는 이에 대응되는 영상점이다(도 3 참조). [수학식 15]에 사용된 $\det(\cdot)$ 은 아래의 [수학식 16]과 같이 정의된다.

<63>
$$\det(q_1q_2q_3) = f \begin{bmatrix} x_1 & x_2 & x_3 \\ y_1 & y_2 & y_3 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

【수학식 16】

<64>
$$\det(P_1P_2P_3) = f \begin{bmatrix} X_1 & X_2 & X_3 \\ Y_1 & Y_2 & Y_3 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} = 2^k (\text{Area of } \triangle P_1P_2P_3)$$

<65> [수학식 15] 및 [수학식 16]과 같이 표시되는 투사 불변형 표현자(I)는 [수학식 2]와 같은 비선형 변환시에도 변하지 않는 정보로서, 카메라(110)에 의해 측정된 영상의 형태가 변화하더라도 궁극적으로 그 값은 변하지 않게 된다.

<66> 도 7은 임의의 2차원 형상으로부터 투사 불변형 표현자(I)를 구하는 방법을 설명하기 위한 도면이다. 도 7을 참조하면, 먼저 도면에 표시된 2차원 형상의 외곽선을 추출하고, 추출된 외곽선을 5 개의 구간으로 균등 분할한다. 그리고, 5등분된 각 구간을 구성하는 각각의 점들(X

$X_1(1), X_1(k), X_2(1), X_2(k), X_3(1), X_3(k), X_4(1), X_4(k), X_5(1), X_5(k)$)의 좌표를 구한 후, [수학식 15] 및 [수학식 16]에 의거하여 투사 불변형 표현자를 계산한다. 투사 불변형 표현자의 계산시 상기 점들($X_1(1), X_1(k), X_2(1), X_2(k), X_3(1), X_3(k), X_4(1), X_4(k), X_5(1), X_5(k)$)은 2차원 형상의 외곽선을 따라 외곽선 길이의 $1/N$ 배 만큼씩 이동해 가면서 각 점들이 최초의 위치에 도달할 때까지 반복하여 [수학식 15]에 대입된다. 이를 수학식으로 나타내면 다음과 같다.

<67> $I(k) = \frac{\det(X_5 X_1 X_4) \det(X_5 X_2 X_3)}{\det(X_5 X_1 X_3) \det(X_5 X_2 X_4)}$

【수학식 17】

<68> 여기서,

<69> $X_1(k) = (X(k), Y(k), 1),$

<70> $X_2(k) = \left(X\left(\frac{N}{5} + k\right), Y\left(\frac{N}{5} + k\right), 1 \right),$

<71> $X_3(k) = \left(X\left(\frac{2N}{5} + k\right), Y\left(\frac{2N}{5} + k\right), 1 \right),$

<72> $X_4(k) = \left(X\left(\frac{3N}{5} + k\right), Y\left(\frac{3N}{5} + k\right), 1 \right),$

<73> $X_5(k) = \left(X\left(\frac{4N}{5} + k\right), Y\left(\frac{4N}{5} + k\right), 1 \right)$ 이고, $1 \leq k \leq N$ 이며, $X(k)$ 및 $Y(k)$ 는 각각 2차원 형상의 외곽선의 X축 및 Y축 좌표함수를 각각 의미한다.

<74> 앞에서 설명한 방법에 의해서 도 7의 형상으로부터 구해진 투사 불변형 표현자(I)의 계산 결과는 도 8의 그래프와 같다. 도 8에 도시된 투사 불변형 표현자(I)의 계산 결과(즉, 투사 불변량)는, 카메라(110)에 의해 취득된 영상의 형태가 변형되더라도 고유의 값을 유지하는 특성을 가진다. 뿐만 아니라, 상기 투사 불변형 표현자(I)는 노이즈나

경사각(slant angle)의 변화에 대하여 영향을 받지 않는 특성을 가진다. 따라서, 이 같은 투사 불변량 값을 핸드/아이 캘리브레이션에 사용하게 되면, 캘리브레이션의 정밀도가 더욱 향상될 수 있게 된다.

<75> 투사 불변형 표현자(I)를 이용하여 카메라(110)에 의해 취득된 영상들간의 대응점을 추출하는 과정은 다음과 같다.

<76> 영상들간의 대응점을 추출하기 위해서는 먼저 투사 불변형 표현자(I)에 대한 오차(error)가 정의되어야 하는데, 본 발명에서는 가우시안 노이즈 모델(Gaussian noise model)을 이용하여 상기 오차를 정의한다. 이를 위해 상기 [수학식 17]을 행렬식으로 나타내면 다음과 같다.

<77>
$$I(k) = \frac{\det(X_5X_1X_4)\det(X_5X_2X_3)}{\det(X_5X_1X_3)\det(X_5X_2X_4)} \quad \text{where } X_i = (x_i, y_i, 1)^T$$

【수학식 18】

<78> 또는, $I = I(x_1, y_1, x_2, y_2, x_3, y_3, x_4, y_4, x_5, y_5)$

<79> 여기서, (x_i, y_i) 을 참 값(true)의 데이터, $(\tilde{x}_i, \tilde{y}_i)$ 을 노이즈 관측 파라미터(noisy observation parameter)라 할 때, 노이즈 관측 파라미터는

<80>
$$[\text{수학식 19}] \quad \tilde{x}_i = x_i + \xi_i, \quad \tilde{y}_i = y_i + \eta_i$$

<81> 과 같이 표시된다. 여기서, 노이즈 항(noise terms) ξ_i 및 η_i 는, 평균(mean)이 0이고 편차(variance)가 σ_i^2 인 독립 분포 노이즈 항(independently distributed noise terms)으로서, 다음과 같이 정의된다.

<82>

$$E[\xi_i] = E[\eta_i] = 0$$

$$V[\xi_i] = V[\eta_i] = \sigma_i^2$$

$$E[\xi_i \xi_j] = \begin{cases} \sigma_0^2 & \text{if } i=j \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}, \quad E[\eta_i \eta_j] = \begin{cases} \sigma_0^2 & \text{if } i=j \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$[\text{수학식 20}] \quad E[\xi_i \eta_j] = 0$$

<83> 영상 상에 존재하는 노이즈 양(noisy measurements)을 관찰하고, 이를 이용하여 노이즈 불변량(noisy invariant)을 표시하면 다음과 같다.

<84>

$$[\text{수학식 21}] \quad \tilde{I}(\tilde{x}_1, \tilde{y}_1, \tilde{x}_2, \tilde{y}_2, \tilde{x}_3, \tilde{y}_3, \tilde{x}_4, \tilde{y}_4, \tilde{x}_5, \tilde{y}_5)$$

<85> 노이즈 불변량에 대한 예측 값(expected value)과 편차(variance)를 구하기 위하여 \hat{I} 을 $\hat{I}(x_1, y_1, x_2, y_2, x_3, y_3, x_4, y_4, x_5, y_5)$ 에 대해 테일러 급수(Taylor series)로 전개하면

<86>

$$\begin{aligned} \hat{I} &\approx I + \sum_{i=1}^5 \left[(\tilde{x}_i - x_i) \frac{\partial \hat{I}}{\partial \tilde{x}_i} + (\tilde{y}_i - y_i) \frac{\partial \hat{I}}{\partial \tilde{y}_i} \right] \\ &= I + \sum_{i=1}^5 \left[\xi_i \frac{\partial \hat{I}}{\partial \tilde{x}_i} + \eta_i \frac{\partial \hat{I}}{\partial \tilde{y}_i} \right] \end{aligned}$$

$$[\text{수학식 22}]$$

<87>

이 된다. 이 경우, 편차는

<88>

$$[\text{수학식 23}] \quad E[(\hat{I} - I)^2] = \sigma_0^2 \sum_{i=1}^5 \left[\left(\frac{\partial \hat{I}}{\partial \tilde{x}_i} \right)^2 + \left(\frac{\partial \hat{I}}{\partial \tilde{y}_i} \right)^2 \right]$$

<89>

이 된다. 그리고, 주어진 노이즈 불변량에 대하여 드레솔드(threshold)는 다음과 같이 정의된다.

<90>

$$[\text{수학식 24}] \quad \Delta I = 3 \times \sqrt{E[(\hat{I} - I)^2]}$$

<91>

로봇 핸드(100)에 부착된 카메라(110)로부터 취득된 영상들로부터 대응점을 찾는 과정은 투사 불변형 파라미터들을 반복적으로 계산함에 의해서 이루어지는데, 카메라(110)로부터 취득된 전영상과 후영상의 경계 데이터는 다음과 같이 표시된다.

<92> $O_k^{In} = \{X_{Ik}^{In}, Y_{Ik}^{In}\}, \quad k=1 \sim n^{In}$
 $O_k^{Mo} = \{X_{Ik}^{Mo}, Y_{Ik}^{Mo}\}, \quad k=1 \sim n^{Mo}$

【수학식 25】

<93> 여기서, n^{In} 및 n^{Mo} 는 장면(scene) 및 모델(model)의 경계선 상에 있는 점들의 개수를 각각 나타내며, 이들 경계 데이터들은 N 개의 데이터로 서브샘플링(subsampling) 된다. 이를 수학식으로 나타내면 다음과 같다.

<94> 【수학식 26】 $q_i^{In} = \{X_{i1(i)}^{In}, Y_{i1(i)}^{In}\}, \quad q_i^{Mo} = \{X_{i2(i)}^{Mo}, Y_{i2(i)}^{Mo}\}, \quad i=1 \sim N$

<95> 여기서, $\tau_1(i) = \frac{n^{In}}{N} \times i, \quad \tau_2(i) = \frac{n^{Mo}}{N} \times i$ 의 값을 나타낸다. 그리고, N은 정규화된 윤곽선(normalized contour)상에 있는 점들의 개수를 나타낸다.

<96> 이어서, [수학식 26]에서 정의된 q_i^{In} 및 q_i^{Mo} 을 이용하여 다음의 식을 최소화(minimizing) 하는 투사 불변형 표현자를 구하게 된다.

<97> 【수학식 27】 $\epsilon^2 = \sum_{i=1}^N W_i^2 (q_i^{In} - (C \cdot q_i^{Mo} + d)^{-1} (A q_i^{Mo} + b))^{T_{left}} q_i^{In} - (C \cdot q_i^{Mo} + d)^{-1} (A q_i^{Mo} + b))$

<98> 여기서, A, b, c, 및 d는 두 영상간의 변형으로부터 정의되는 변수로서, 아래의 [수학식 28] 및 [수학식 29]와 같이 표시된다.

<99> 【수학식 28】
$$\begin{bmatrix} X_{ij}^2 \\ Y_{ij}^2 \\ 1 \end{bmatrix} = (s_7' X_{ij}^2 + s_8' Y_{ij}^2 + s_9)^{-1} \left(\begin{bmatrix} s_1 & s_2 \\ s_4 & s_5 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_{ij}^1 \\ Y_{ij}^1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} s_3 \\ s_6 \end{bmatrix} \right)$$

<100> 【수학식 29】 $q_i^2 = (C \cdot q_i^1 + d)^{-1} (A q_i^1 + b)$

<101> [수학식 27]에서 웨이트(weight ; w_i)는 [수학식 23]에 의해 정의된 편차에 의해 구해지며, 이를 수학식으로 표시하면 다음과 같다.

<102>

$$[\text{수학식 30}] \quad \frac{1}{w_i^2} \equiv \sigma_o^2 = \sum_{j=1}^5 \left[\left(\frac{\partial \tilde{I}_i}{\partial x_j} \right)^2 + \left(\frac{\partial \tilde{I}_i}{\partial y_j} \right)^2 \right] \times E[(\tilde{I}_i - I_i)^2]$$

<103>

[수학식 27] 내지 [수학식 30]에 의해서 투사 불변형 파라미터를 최소화하는 과정은 다음과 같이 표시된다.

<104>

$$[\text{수학식 31}] \quad P = (Q^T Q)^{-1} Q^T H$$

<105>

여기서,

<106>

$$\mathbf{P} = (s_1 \ s_2 \ s_3 \ s_4 \ s_5 \ s_6 \ s_7 \ s_8)^T$$

$$\mathbf{Q} = \begin{bmatrix} \vdots & \vdots \\ w_i X_i^{Mo} & w_i Y_i^{Mo} & w_i & 0 & 0 & 0 & w_i X_i^* X_i^{Mo} & w_i X_i^* Y_i^{Mo} \\ 0 & 0 & 0 & w_i X_i^{Mo} & w_i Y_i^{Mo} & w_i & w_i Y_i^* X_i^{Mo} & w_i Y_i^* Y_i^{Mo} \\ \vdots & \vdots \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{H} = (\cdots \ w_i X_i^* \ w_i Y_i^* \ \cdots)^T$$

<107>

[수학식 31]에 의하여 투사 불변형 파라미터가 최소화되면, 카메라(110)에 의해 측득된 후영상은 전영상으로 변환된다. 이를 수학식으로 나타내면 다음과 같다.

<108>

$$[\text{수학식 32}] \quad q_i^{Mo'} = (c \cdot q_i^{Mo} + d)^{-1} (A \cdot q_i^{Mo} + b), \quad i = 1 \sim N$$

<109>

여기서, A, b, c, 및 d는 두 영상간의 변형으로부터 정의되는 변수를 의미한다.

<110>

[수학식 32]와 같이 영상의 변환이 수행되고 나면, 아래의 [수학식 33]과 같이 변환 전과 변환 후의 길이의 비($\tau_2(i)$)가 계산되고, 이를 이용하여 각 경계 데이터 사이의 길이가 재조정된다.

<111>

$$\tau_2(i) = \frac{|q_{i+1}^{Mo'} - q_i^{Mo'}|}{T}, \quad i = 1 \sim N$$

$$[\text{수학식 33}] \quad T = \sum_{i=1}^N |q_{i+1}^{Mo'} - q_i^{Mo'}|$$

<112> [수학식 33]에 의해 구해진 각 경계 데이터 사이의 길이의 비($\tau_2(i)'$)를 이용하여 후영상을 다시 샘플링(sampling)하게 되면, 후영상은

<113> 【수학식 34】 $q_i^{In'} = O_{2(i)}^{In}, i=1 \sim N$

<114> 가 된다.

<115> 이어서, 두 영상간의 오차가 일정 범위 내에 들어오도록 상기 [수학식 29] 내지 [수학식 34]의 과정을 반복하여 수행한다. 상기 오차는 대응점의 오차와 함께 두 경계선의 투사 불변형 표현자(I_m, I_i)의 유사성으로 표현되는데, 두 경계선의 투사 불변형 표현자(I_m, I_i)의 유사도 값(similarity value)은 다음과 같이 정의된다.

<116> 【수학식 35】 $similarity(I_m, I_i) = \frac{\sum_{k=1}^N T(k)}{N}$

<117>
$$T(k) = \begin{cases} 1 & |I_m(k) - I_i(k)| < \Delta I \\ 0 & otherwise \end{cases}$$

<118> 이와 같은 과정을 통해 구해진 유사도 값을 중 그 최대 값이 소정의 드레솔드 값보다 크게 되면, 전영상과 후영상의 대응점들이 서로 일치된 것으로 판단한다. [수학식 35]에서 ΔI 값과, 대응점의 매칭 여부를 결정하기 위한 드레솔드 값은, 본 발명이 실시되는 환경 및 요구되는 정밀도 등에 따라 적절한 값이 선택되어 사용된다.

<119> 도 9는 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 핸드/아이 캘리브레이션 방법을 보여주는 흐름도이다. 도 9를 참조하면, 본 발명에 따른 핸드/아이 캘리브레이션 방법은, 먼저 임의의 2차원 형상으로부터 투사 불변형 표현자(I)를 계산한다(210 단계). 이어서, 계산된 투사 불변형 표현자(I)를 이용하여 카메라(110)로부터 취득된 전영상과 후영상간의

대응점을 추출한다(220 단계). 220 단계에서 추출된 대응점은 핸드/아이 캘리브레이션을 수행하기 위한 캘리브레이션 타겟으로 사용된다.

<120> 그리고, 로봇의 순수 병진운동으로부터 특정 좌표(즉, 추출된 대응점)에 대한 회전 행렬(R)이 계산된다(230 단계). 이 때, 회전 행렬(R)의 계산은 [수학식 8]에 의해 수행된다. 이어서, 로봇의 회전 및 병진운동으로부터 특정 좌표(즉, 추출된 대응점)에 대한 평행 이동 벡터(t)가 계산된다(240 단계). 이 때, 평행 이동 벡터(t)의 계산은 [수학식 14]에 의해 수행된다. 230 및 240 단계에서 회전 행렬(R)과 평행 이동 벡터(t)가 구해지게 되면, 로봇 핸드(100)와 카메라(110) 사이의 관계인 $X_h = RX_c + t$ 을 규명하는 핸드/아이캘리브레이션이 완료된다(250 단계). 여기서, X_h 는 로봇 핸드(100)의 좌표계를 나타내고, X_c 는 로봇 핸드(100)에 부착된 카메라(110)의 좌표계를 각각 나타낸다.

<121> 도 10은 도 9에 도시된 전영상과 후영상간의 대응점 추출 방법을 보여주는 상세 흐름도이다. 일반적으로, 정확한 핸드/아이 캘리브레이션을 수행하기 위해서는 정밀하게 구성된 캘리브레이션 타겟이 필요하다. 따라서, 본 발명에서는 캘리브레이션 타겟을 정밀하게 구성하기 위해, 도 10에 도시된 바와 같이 카메라(110)의 비선형성이나 노이즈 등에 영향을 받지 않는 투사 불변형 표현자(I)를 이용하여 카메라(110)에 의해 측득되는 연속된 영상들에 대한 대응점을 추출하고, 이를 캘리브레이션 타겟으로 사용한다.

<122> 이를 위하여 본 발명에서는, 먼저 각각의 영상에서 구해진 투사 불변형 표현자(I)에 대한 오차를 정의하고(2200 단계), 영상의 노이즈 양을 분석하여 노이즈 불변량을 계산한다(2210 단계). 그리고, 2210 단계에서 계산된 노이즈 불변량에 응답해서 드레솔드를 계산한다(2220 단계).

<123> 이어서, 카메라(110)에 의해 취득된 전영상과 후영상의 경계 데이터를 추출하고 (2230 단계), 추출된 경계 데이터를 N개의 데이터로 서브샘플링한다(2240 단계). 그리고, [수학식 31]에 의거하여 투사 불변형 파라미터를 최소화하고(2250 단계), 최소화된 투사 불변형 파라미터에 응답해서 후영상을 전영상으로 변환한다(2260 단계). 그리고 나서, 영상의 변환전과 변환 후의 길이의 비를 고려하여 각 경계 데이터 사이의 길이를 재조정한다(2270 단계).

<124> 2270 단계에서 경계 데이터 사이의 길이가 재조정되면, 전영상과 후영상에 대한 두 경계선간의 유사성을 비교하고(2280 단계), 상기 유사성 비교 결과를 이용하여 전영상과 후영상간의 대응점을 추출한다(2290 단계).

<125> 이와 같이, 본 발명에 의한 핸드/아이 캘리브레이션 방법은, 투사 불변형 표현자(I)를 이용하여 전영상과 후영상간의 대응점을 추출한다. 따라서, 노이즈나 비선형적인 카메라의 특성 등에 영향을 받지 않고 정확한 핸드/아이 캘리브레이션을 수행할 수 있게 된다.

<126> 이상에서, 본 발명의 실시예로서 로봇의 핸드/아이 캘리브레이션에 대해 구체적으로 예시되었으나, 그밖에도 적어도 하나 이상의 카메라를 통해 취득된 영상을 통해서 해당 오브젝트의 동작을 제어하는 다양한 종류의 비주얼 서보잉 장치들에도 본 발명을 적용할 수 있다.

<127> 본 발명은 또한 컴퓨터로 읽을 수 있는 기록매체에 컴퓨터가 읽을 수 있는 코드로서 구현하는 것이 가능하다. 컴퓨터가 읽을 수 있는 기록매체는 컴퓨터 시스템에 의하여 읽혀질 수 있는 데이터가 저장되는 모든 종류의 기록장치를 포함한다. 컴퓨터가 읽을 수 있는 기록매체의 예로는 ROM, RAM, CD-ROM, 자기 테이프, 플로피디스크, 광데이터 저

장장치 등이 있으며, 또한 캐리어 웨이브(예를 들어 인터넷을 통한 전송)의 형태로 구현되는 것도 포함한다. 또한 컴퓨터가 읽을 수 있는 기록매체는 네트워크로 연결된 컴퓨터 시스템에 분산되어, 분산방식으로 컴퓨터가 읽을 수 있는 코드로 저장되고 실행될 수 있다.

【발명의 효과】

<128> 이상에 설명한 바와 같이, 본 발명에 의한 핸드/아이 캘리브레이션 방법에 의하면, 투사 불변형 표현자를 이용하여 이전 영상과 이후 영상간의 대응점이 정확하게 추출된다. 따라서, 노이즈나 비선형적인 카메라의 특성 등에 영향을 받지 않고 정확한 핸드/아이 캘리브레이션이 수행될 수 있다.

【특허청구범위】**【청구항 1】**

- (a) 로봇 핸드에 부착된 카메라에 의해서 소정의 시간 간격을 두고 취득된 적어도 두 개 이상의 영상들로부터 2차원 형상에 대한 투사 불변형 표현자를 구하는 단계;
- (b) 상기 투사 불변형 표현자를 이용하여 상기 영상들간의 대응점을 추출하는 단계;
- (c) 상기 로봇 핸드의 병진운동으로부터 상기 대응점에 대한 회전 행렬을 구하는 단계;
- (d) 상기 로봇 핸드의 회전 및 병진운동으로부터 상기 대응점에 대한 평행 이동 벡터를 구하는 단계; 및
- (e) 상기 (c) 및 상기 (d) 단계에서 구해진 상기 회전 행렬 및 상기 평행 이동 벡터를 근거로 하여 상기 로봇 핸드와 상기 카메라 사이의 관계를 규명하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 핸드/아이 캘리브레이션 방법.

【청구항 2】

제 1 항에 있어서,

상기 대응점은 상기 핸드/아이 캘리브레이션을 수행하기 위한 캘리브레이션 타겟인 것을 특징으로 하는 핸드/아이 캘리브레이션 방법.

【청구항 3】

제 1 항에 있어서,

상기 회전 행렬 R 은, 영상 벡터가 t_{c1} 이고, 이미 알고 있는 상기 로봇 핸드의 움직임 정보가 t_{p1} 일 때, $t_{c1} = R^{-1}t_{p1}$ 의 값을 가지는 것을 특징으로 하는 핸드/아이 캘리브레이션 방법.

【청구항 4】

제 1 항에 있어서,

상기 평행 이동 벡터 t 는, 상기 회전 행렬이 R , 영상 벡터가 t_{c1} , 이미 알고 있는 상기 로봇 핸드의 움직임 정보가 (R_{p1}, t_{p1}) , 그리고 상기 대응점에 대한 투사 불변형 표현자가 I 일 때, $t = (R_{p1} - I)^{-1}(Rt_{c1} - t_{p1})$ 의 값을 가지는 것을 특징으로 하는 핸드/아이 캘리브레이션 방법.

【청구항 5】

제 1 항에 있어서,

상기 로봇 핸드의 좌표계는, 상기 카메라의 좌표계와 상기 회전 행렬의 곱에 상기 평행 이동 벡터를 더해 준 것과 같은 것을 특징으로 하는 핸드/아이 캘리브레이션 방법.

【청구항 6】

제 1 항에 있어서,

상기 투사 불변형 표현자는, P 가 물체점이고, q 가 상기 물체점 P 에 대응되는 영상 점일 때

$$I \equiv \frac{\det(q_5q_1q_4)\det(q_5q_2q_3)}{\det(q_5q_1q_3)\det(q_5q_2q_4)} = \frac{\det(P_5P_1P_4)\det(P_5P_2P_3)}{\det(P_5P_1P_3)\det(P_5P_2P_4)} \text{이며,}$$

상기 $\det(\cdot)$ 는

$$\det(q_1 q_2 q_3) = f \begin{bmatrix} x_1 & x_2 & x_3 \\ y_1 & y_2 & y_3 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\det(P_1 P_2 P_3) = f \begin{bmatrix} X_1 & X_2 & X_3 \\ Y_1 & Y_2 & Y_3 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} = 2^k (Area \ of \ \triangle P_1 P_2 P_3)$$

인 것을 특징으로 하는 핸드/아이 캘리브레이션 방법.

【청구항 7】

제 1 항에 있어서,

상기 (a) 단계는, 상기 2차원 형상의 외곽선을 n 개의 구간으로 분할한 후, 상기 각 구간을 구성하는 각각의 점들에 대한 좌표를 구하고, 상기 좌표가 각 구간의 최초의 위치에 도달할 때까지 상기 좌표를 상기 외곽선 길이의 $1/N$ 배 만큼씩 이동해 가면서 상기 좌표에 대한 투사 불변량을 반복적으로 계산하는 것을 특징으로 하는 핸드/아이 캘리브레이션 방법.

【청구항 8】

제 7 항에 있어서,

상기 n 개의 구간 각각에서 구해지는 상기 구간별 투사 불변형 표현자는, $1 \leq k \leq N$ 이고, $X(k)$ 및 $Y(k)$ 가 상기 외곽선의 X 축 및 Y 축 좌표함수를 각각 의미할 때,

$$X_1(k) = (X(k), Y(k), 1),$$

$$X_2(k) = \left(X\left(\frac{N}{5} + k\right), Y\left(\frac{N}{5} + k\right), 1 \right),$$

$$X_3(k) = \left(X\left(\frac{2N}{5} + k\right), Y\left(\frac{2N}{5} + k\right), 1 \right),$$

$$X_4(k) = \left(X\left(\frac{3N}{5} + k\right), Y\left(\frac{3N}{5} + k\right), 1 \right),$$

$$X_5(k) = \left(X\left(\frac{4N}{5} + k\right), Y\left(\frac{4N}{5} + k\right), 1 \right) \text{이고,}$$

$$I(k) \equiv \frac{\det(X_s X_1 X_4) \det(X_s X_2 X_3)}{\det(X_s X_1 X_3) \det(X_s X_2 X_4)} \quad \text{인 것을 특징으로 하는 핸드/아이 캘리브레이션}$$

방법.

【청구항 9】

제 1 항에 있어서, 상기 (b) 단계는,

(b-1) 상기 투사 불변형 표현자에 대한 오차를 정의하고, 노이즈 불변량을 계산하는 단계;

(b-2) 상기 노이즈 불변량에 응답해서 대응점 결정에 사용될 드레솔드를 계산하는 단계;

(b-3) 상기 영상들로부터 각각의 경계 데이터를 추출하고, 추출된 각각의 상기 경계 데이터를 N개의 데이터로 서브샘플링하는 단계;

(b-4) 상기 투사 불변형 파라미터를 최소화하는 단계;

(b-5) 최소화된 상기 투사 불변형 파라미터에 응답해서 상기 영상들 중 이후에 취득된 영상을 이전 영상으로 변환하는 단계;

(b-6) 상기 영상에 대한 변환 전·후의 길이의 비를 고려하여 상기 경계 데이터간의 길이를 재조정하는 단계; 및

(b-7) 상기 경계선들간의 유사성을 비교하여, 상기 영상들간의 대응점을 추출하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 핸드/아이 캘리브레이션 방법.

【청구항 10】

제 9 항에 있어서,

상기 오차는 가우시안 노이즈 모델(Gaussian noise model)을 이용하여 정의되는 것을 특징으로 하는 핸드/아이 캘리브레이션 방법.

【청구항 11】

제 9 항에 있어서,

상기 핸드/아이 캘리브레이션 방법은, 상기 오차가 소정의 범위에 들어올 때까지 상기 (b-4)내지 상기 (b-6) 단계를 반복하여 수행하는 것을 특징으로 하는 핸드/아이 캘리브레이션 방법.

【청구항 12】

(a) 소정의 시간 간격을 두고 취득된 적어도 두 개 이상의 영상으로부터 2차원 형상에 대한 투사 불변형 표현자에 대한 오차를 정의하고, 노이즈 불변량을 계산하는 단계;

(b) 상기 노이즈 불변량에 응답해서 대응점 결정에 사용될 드레솔드를 계산하는 단계;

(c) 상기 영상들로부터 각각의 경계 데이터를 추출하고, 추출된 상기 각각의 경계 데이터를 N개의 데이터로 서브샘플링하는 단계;

(d) 상기 투사 불변형 파라미터를 최소화하는 단계;

(e) 최소화된 상기 투사 불변형 파라미터에 응답해서 상기 영상들 중 이후에 취득된 영상을 이전 영상으로 변환하는 단계;

(f) 상기 영상에 대한 변환 전·후의 길이의 비를 고려하여 상기 경계 데이터간의 길이를 재조정하는 단계; 및

(g) 상기 경계선들간의 유사성을 비교하여, 상기 영상들간의 대응점을 결정하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 영상간의 대응점 추출 방법.

【청구항 13】

제 12 항에 있어서,

상기 오차는 가우시안 노이즈 모델(Gaussian noise model)을 이용하여 정의되는 것을 특징으로 하는 영상간의 대응점 추출 방법.

【청구항 14】

제 12 항에 있어서,

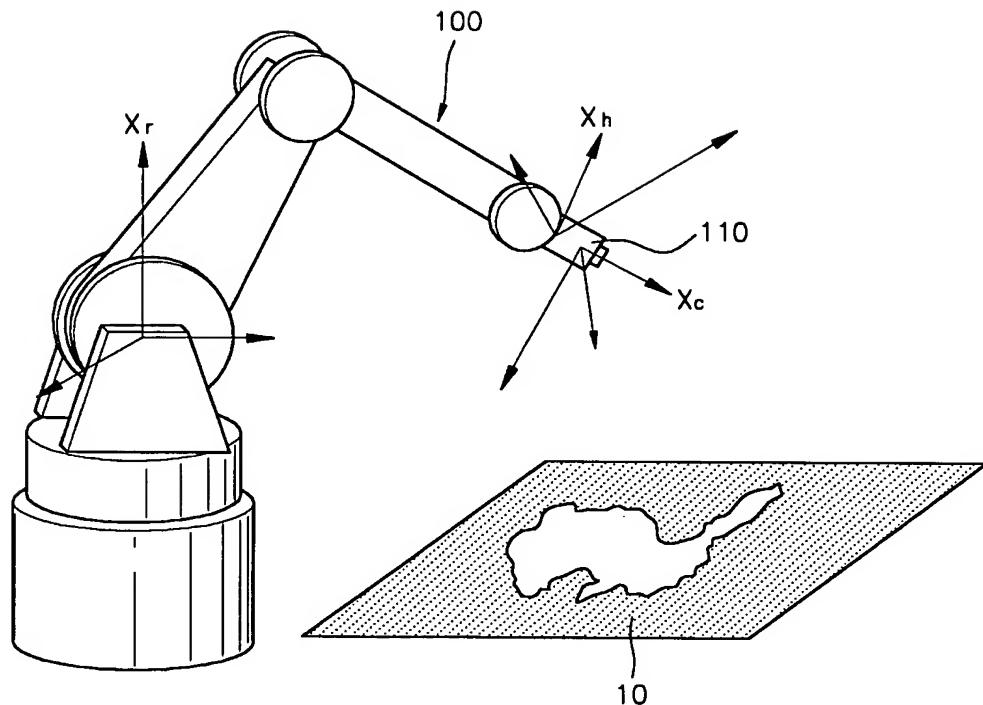
상기 영상간의 대응점 추출 방법은, 상기 오차가 소정의 범위에 들어올 때까지 상기 (d)내지 상기 (f) 단계를 반복하여 수행하는 것을 특징으로 하는 영상간의 대응점 추출 방법.

【청구항 15】

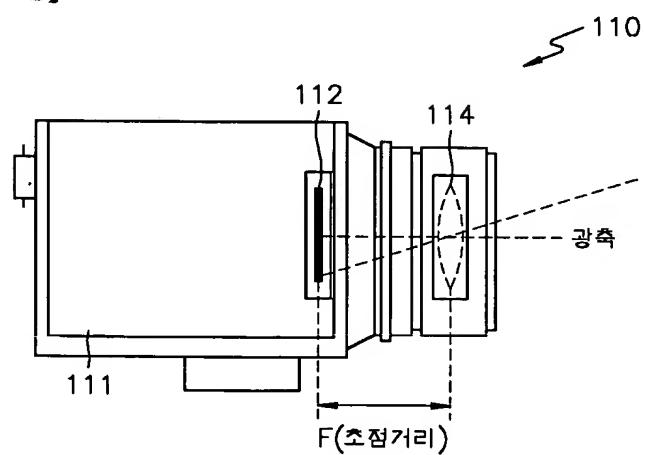
제 1 항 내지 제 14 항 중 어느 한 항의 방법을 컴퓨터에서 실행시키기 위한 프로그램을 기록한 컴퓨터로 읽을 수 있는 기록 매체.

【도면】

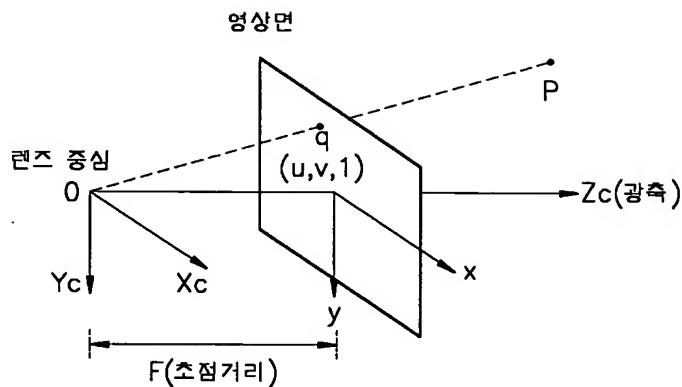
【도 1】



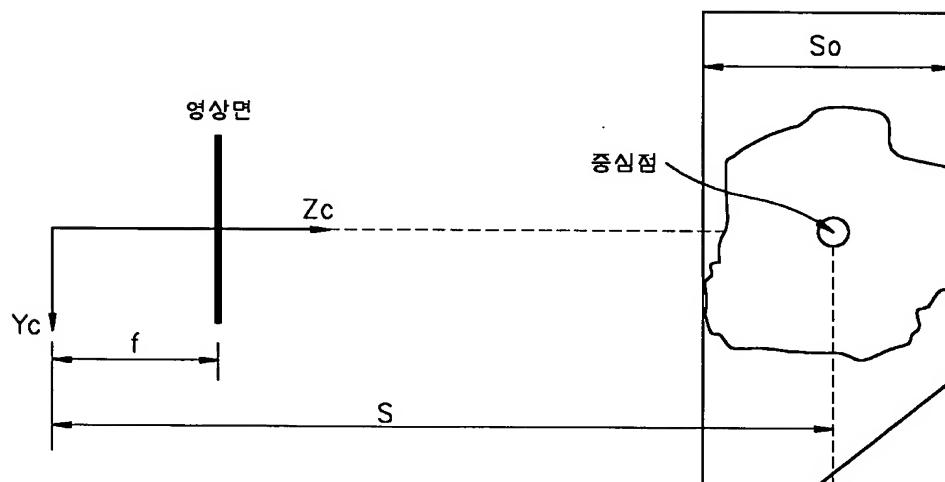
【도 2】



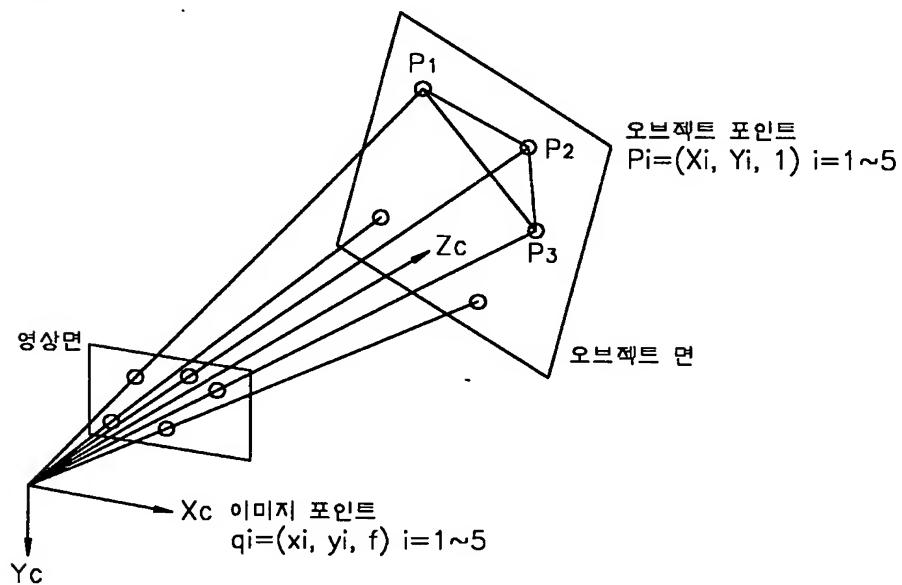
【도 3】



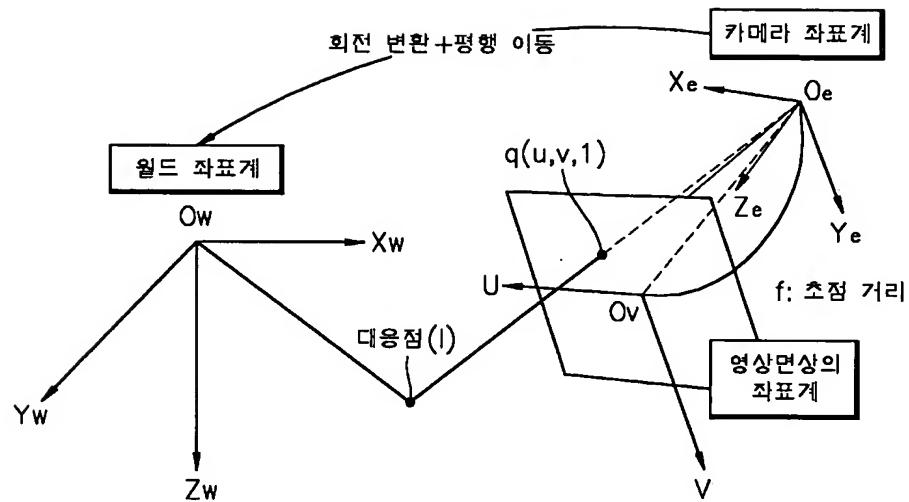
【도 4】



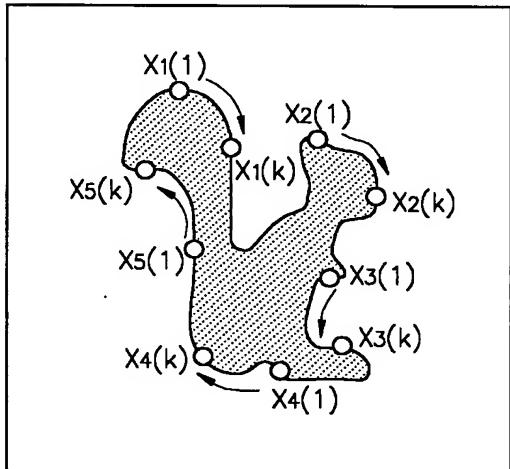
【도 5】



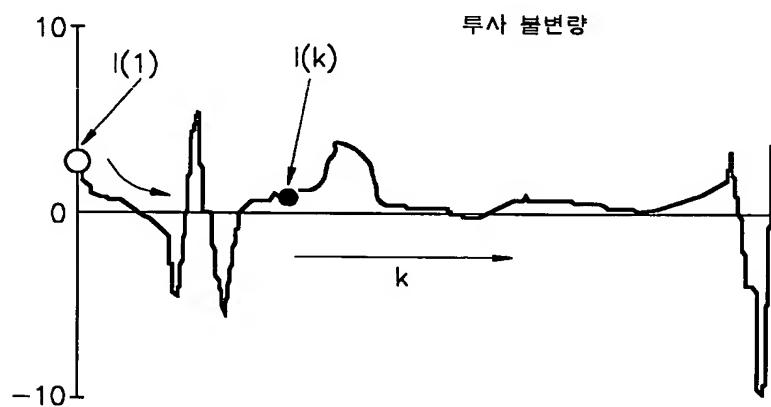
【도 6】



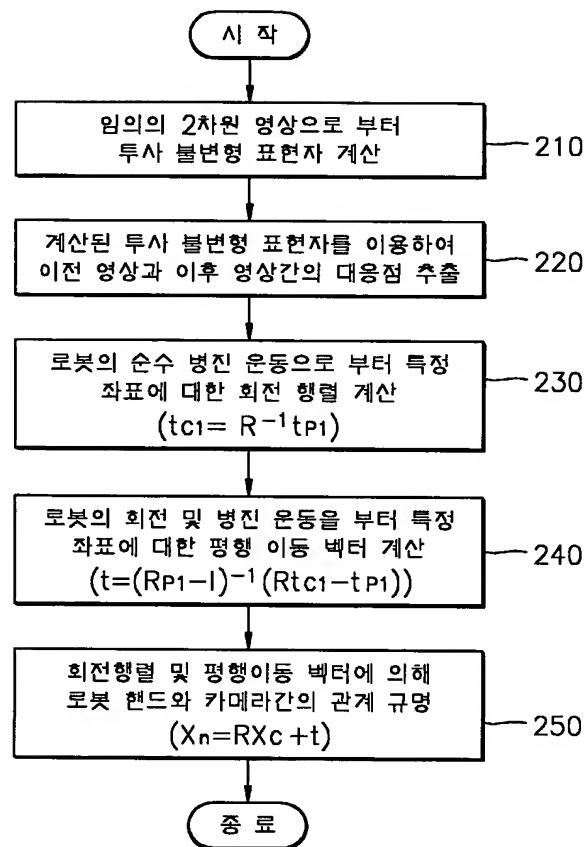
【도 7】



【도 8】



【도 9】



【도 10】

